

克罗地亚佩鲁恰大坝的战争破坏与修复

王正旭

(国家电力公司大坝安全监察中心, 浙江 杭州 310014)

摘要:对克罗地亚佩鲁恰大坝被占、被炸以及采取应急行动排除险情、及时修复大坝的全过程作了详细介绍。该事件表明,在当今国际形势下,战争和恐怖行动仍是危害大坝安全的重要因素之一,在设计、运行中必须采取有效的预防措施。大坝必须设置泄水底孔,根据战争形势适时放空水库。大坝一旦遭受打击,应立即采取应急行动,排除险情,并根据实际情况采取切实措施进行修复,尽快恢复供电、供水。

关键词:大坝安全;除险加固;克罗地亚;佩鲁恰大坝

中图分类号:TV64

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2003)05-0066-03

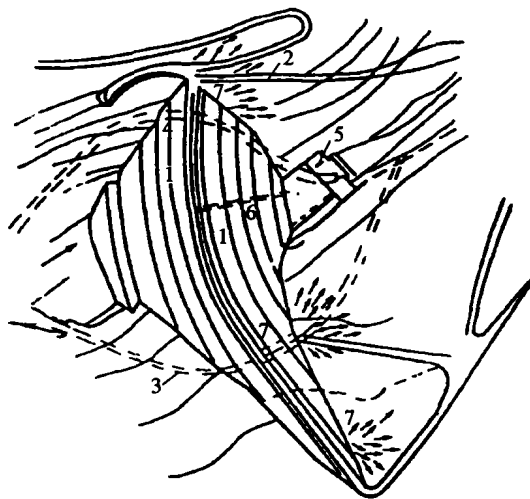
拦河筑坝本是造福人类的伟大事业,保证大坝安全始终是人们努力的目标,但在战争时期,重要的水利枢纽往往成为重点打击目标,敌方企图以溃坝来达到其军事、政治目的。克罗地亚佩鲁恰(Peruca)大坝被炸就是其中一例。1993年1月28日塞尔维亚武装引爆了大坝廊道内和溢洪道上的炸药,使大坝面临溃决的危险,经采取紧急措施和全面修复,才得以转危为安。研究和剖析这一典型事例,对大坝的战争防护、紧急抢修、险坝加固以及反对恐怖行动会有一定益处。

1 工程概况

佩鲁恰水电站位于克罗地亚共和国的斯普利特市附近的采蒂纳(Cetina)河上。电站于1955年开工兴建,1960年建成发电,装机容量41.6 MW,年平均发电量120 GW·h。水库库容为5.41亿 m^3 ,是1个季调节水库,最高运行水位360 m。该工程担负着为一个大型工业和旅游区供电供水,为下游3座水电站调节水量以及为附近农业区提供生活和灌溉用水的重要任务^[1]。

水电站工程由大坝、溢洪道、泄水底孔、发电引水隧洞、厂房等建筑物组成,其中大坝是一座粘土心墙堆石坝,见图1。大坝坝轴线呈拱形,坝高65 m,坝顶高程363 m,坝顶宽8 m,上下游边坡分别为1:1.5和1:1.45,迎水面有砌石层保护,坝顶长450 m,体积为87.4万 m^3 。大坝心墙两侧设有2~3层反滤过渡层,心墙底部坐落在混凝土底座上,底座内设有纵向

检查廊道,从该廊道有3条通向下流的横向交通廊道。大坝建于岩溶地区,为此设置了长1600 m,深100~200 m的水泥和膨润土灌浆帷幕,以确保有足够的防渗能力^[1,2]。



1—坝;2—溢洪道;3—泄水底孔;4—发电引水隧洞;5—厂房;
6—通往开关站的排水管;7—爆炸从廊道口喷发点

图1 佩鲁恰大坝枢纽布置

2 被占时期的运行

20世纪90年代初,前南斯拉夫联邦国内民族矛盾激化,1991年6月25日克罗地亚共和国宣布独立。由于佩鲁恰水电站的重要性,1991年9月17日,塞尔维亚武装从克罗地亚业主手中强行占领了电站,并以此作为政治抵押品,对克罗地亚共和国施

作者简介:王正旭(1945—),男,浙江杭州人,高级工程师,从事水电站大坝安全监察工作。

加压力.被占领后的1年内该工程一直处于非常危险的状态.克罗地亚的电站管理人员被驱逐前关闭了电站的机组,打开溢洪道和泄水底孔闸门使水库敞泄,5天后塞尔维亚武装关闭了所有闸门,一直不放水,到1992年初库水位已升高到361.2m(坝顶高程363m),极有可能漫顶.为避免造成灾难性事故,原电站负责人郑重要求开闸放水,但放水后又使下游地区遭受水淹.与此同时,塞尔维亚武装还不断以炸掉大坝相要挟,此时的大坝已成了十分危险的武器^[2].

塞尔维亚武装占领电站后,下泄流量在 $0 \sim 140 \text{ m}^3/\text{s}$ 任意变动,致使佩鲁恰水电站停运,下游3座水电站也无法正常运行,造成克罗地亚大部分地区严重缺电,日供电时间缩短为12h,严重影响了当地居民的生产和生活^[2].

从生态方面看,下泄流量常常不能满足下游生态所需的最低要求,下游动植物群落受到很大损害,特别是采蒂纳河特有的淡水鳖虾已遭到毁灭性破坏.农业因得不到灌溉而遭受严重损失.雨季里水库要么处于随时可能发生危险的高水位,要么突然大量泄水,使下游生态脆弱区不时遭受水淹.

1992年9月,联合国维和部队进入现场,宣布该地区为保护区.塞尔维亚武装撤退时宣称坝内已埋有炸药.早在1992年1月,联合国维和部队的代表检查现场时就已发现廊道内至少埋有3个炸药箱,但9月份维和部队控制电站后,并未及时清除.一旦引爆炸药造成大坝溃决,必将殃及下游居民、大片农田和3座水电站,这对于克罗地亚这样的小国来讲,无疑是一场巨大的灾难.

3 大坝炸毁

1993年1月27日下午,坝区发生炮战,28日凌晨响起警报,10时48分起坝上连续发出5次强烈的爆炸声,1次在溢洪道右边墙,4次在粘土心墙下的检查廊道内.其中有3个爆炸点的药包放在纵向检查廊道与横向交通廊道交会处,因交通廊道出口未封闭,爆炸产生的高压气体从廊道出口喷出,因而降低了爆炸威力,但毁坏了廊道出口.冲出的高温高压气体烧毁了廊道出口周围50~100m半径范围内的树木.另一个在最高坝段廊道内的爆炸点对大坝的破坏最为严重,但该处炸药量较少,并未造成大坝完全毁坏^[1].克罗地亚地震局有3座地震台记录到这次爆炸震动波.据萨格勒布大学地球物理研究所的专家分析,爆炸相当于发生了2.3~2.4级地震,爆破能量相当于20~30t TNT炸药^[1].

28日20时20分,克罗地亚的专家赶到现场,自

右至左开始检查,发现距右坝头20m处,即在1号横向交通廊道与纵向廊道交会点上方的坝顶有1个直径20~25m,深6~7m的塌坑,1号交通廊道口被毁;坝顶有许多纵横向裂缝,在1号和2号交通廊道之间的坝顶有1条长达77m,距上游面1.5m的纵向裂缝.2号横向交通廊道口完全被毁;中部坝顶有一段长50m,深2.5~3.0m的塌陷,左端坝顶即3号交通廊道和纵向检查廊道交会点上方,有1个直径25~30m,深10m的巨大塌坑,塌坑上游已与水库连通,塌坑下游仅高出当时库水位0.3~0.5m,幸好库水位已降至356.2m(比最高洪水位低5m),才未酿成库水漫顶事故.在心墙炸塌处已形成落水洞,库水从坝体进入检查廊道,水流夹带心墙土料以 $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量,从305m高程廊道下部通过直径1m的横向排水管,经厂坝之间的升压站平台附近的竖井喷涌而出,喷出的水柱高达2~3m,带出粘土块的直径达0.5m.虽然这个排水道随后已自行封堵,但已有大量的粘土心墙料和反滤料从排水管流走,情况十分危急.溢洪道的破坏最为严重,其交通桥已完全毁坏,泄槽的边墙和底板已损坏,1块 12 m^3 的混凝土被抛至30m以远,当时库水位高出溢洪道堰顶1.2m,库水漫过堰顶流入采蒂纳河;厂房被淹没,发电机组全被淹入水中,控制设备和仪表被毁.

4 应急措施

以上情况严重威胁着居民的安全,克罗地亚当局不断用无线电广播和其它方式向附近的居民通报情况.在克罗地亚军队的引导下,平静地撤离了紧靠坝下的3000居民.专家认为尚无必要对下游的几万居民发布撤离警报,但要求对水库水位和大坝下游4km处的水位实施连续观测和水的混浊度检查,以监测大坝的内部冲刷.

29日8时开始采取紧急抢险措施.首先填平坝顶的塌陷坑.由于左端溢洪道桥被炸断,而且埋有地雷,填筑施工只能从右岸向左推进.部分填筑料取自25km以外的料场.3h内填筑土石料 3000 m^3 ,到11时10分,基本填平了坝顶的塌陷坑.另一项应急措施是开启泄水底孔闸门.尽管闸门下方已布雷,工作很危险,但经过努力,终于在29日14时15分开启闸门,以 $215 \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量向下游泄放库水,库水位开始下降.1月30日又出现了几个落水洞,但被迅速回填.

爆炸后面临的最严重问题是心墙受漏水冲刷引起的渐进性破坏.到2月2日大坝仍未达到稳定状态,心墙的冲刷还在进行,明显可见一些粘土心墙的土料被冲走.大坝的内部冲刷和失事的可能性越来越

越明显地表现出来,因此必须尽快将库水位降至315~320 m高程.通过底孔紧急泄水,2月5日库水位降至350.6 m,2月8日约为348 m,平均每天下降90 cm^[3],此后的10天仍是危险期.泄水一直持续到3月12日,库水位降至314.8 m,水深仅10 m,库内存水量为1000万 m³,险情随之排除.

5 大坝修复

1993年内坝区仍有武装冲突,不可能进行更细致的调查,而大坝和水库的发电和供水功能急待恢复.于是,根据当时的检查结果,拟订了4个大坝修复方案,经深入论证选定了其中的“左右坝段按原设计恢复,中央坝段在原粘土心墙内增设一道混凝土防渗墙”的方案^[4].其具体内容包括:①大坝左端150 m、右端180 m的坝段按原设计重建;②在中央坝段心墙内建造塑性混凝土防渗墙,其位置在检查廊道的中心线上游4 m,墙厚1 m,防渗墙的长度为261 m(约占总长的60%),高度12.9~51.9 m,表面积8412 m²;③原心墙的下游反滤过渡层,用灌浆固结加固;④全面修复原廊道系统,施工时还可借此了解整个大坝下部的破坏情况;⑤重建溢洪道,更换闸门及启闭设备;⑥更新大坝安全监测设施.

修复施工期间,库水位保持在330 m高程,汛期通过底孔和发电钢管可以泄放百年一遇洪水.选定的方案能保证大坝防渗系统的施工质量,而且无需对原粘土心墙的破坏情况作广泛调查.方案的土建费用当时估计为618.2万美元,施工期9个月.施工承包商是德国的巴尔公司和克罗地亚的乔特尼卡公司.

施工方法是在坝顶用双轮反循环钻机钻孔,并在心墙的混凝土底座开槽,然后回填混凝土.为使心墙固结,防止浇筑防渗墙时水泥浆的流失,以及防止防渗墙两侧土体的沉陷过大,决定先用水泥膨润土浆对原粘土心墙进行灌浆.这是修复工程的重要环节.防渗墙两端头(左端头27 m,右端头30 m)沉陷极小,推断这些区域没有大的裂缝,故无须灌浆.灌浆资料表明大坝心墙破坏主要发生在中央部位,浆液沿大坝中部心墙及其整个深度大量扩散,其中存在完全不均一的破坏区,这正说明采用塑性混凝土防

渗墙的修复方案是正确的.由于防渗墙的施工并无困难,特别是通过灌浆解决了水泥浆流失和沉陷稳定性两大问题,使防渗墙的质量和防渗性能得到充分保证.灌浆体与防渗墙共同加固了心墙,它既是大坝的防渗体,又能将大坝的荷载传递给下游坝壳.

大坝修复工作于1995年完成,完全达到了加固目的.

6 结 语

从佩鲁恰大坝被占、被炸和修复的整个过程使我们获得以下认识:

a. 战争和恐怖行动是危害大坝安全的重要因素之一,在大坝的设计、运行中应采取有效的预防措施,其中设置泄水底孔是一项十分重要的措施.

b. 根据战争形势,适时放空水库.撤退时应破坏底孔闸门或其它设施,使水库难以蓄水,以免敌方把大坝作为打击目标,而且即使被炸也可减少损失.

c. 大坝管理单位必须制定应急行动计划,一旦大坝遭到打击,可立即按照应急行动计划投入抢救,防止大坝溃决,及时转移居民,以尽量减少损失.

d. 佩鲁恰大坝被炸后,因抢救及时,措施有力,避免了大坝溃决.大坝修复方案经济适用,既保证了工程质量,又满足了及时恢复供电供水的要求.

e. 为加固心墙土石坝可先对心墙进行灌浆,尔后在心墙内建造塑性混凝土防渗墙.这一方法经济可靠,可供心墙土石坝加固借鉴.

参考文献:

- [1] Золотов Л. А. Взрыв Плотины Перуча [J]. Гидротехническое Строительство, 1996(9): 49~52.
- [2] Megla T. The effect on Peruca dam of the war in Croatia [J]. International Water Power & Dam Construction, 1993, 45(1): 15~16.
- [3] World News. Croatian engineers avert major disaster at sabotaged dam [J]. International Water Power & Dam Construction, 1993, 45(3): 3~4.
- [4] Rupcic J. Peruca dam remediation [J]. International Water Power & Dam Construction, 1994, 46(2): 30~38.

(收稿日期:2002-12-25 编辑:傅伟群)

声 明

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入“万方数据——数字化期刊群”(网址: <http://www.periodicals.com.cn>)、《中国学术期刊(光盘版)》和中国期刊网(<http://www.cnki.net/index.htm>)、《北极星》网站(网址: <http://www.lodestar.com.cn>)、水信息网(网址: <http://www.hwcc.com.cn>)、《中文科技期刊数据库》(网址: <http://www.cqvip.com>)及超星数字图书馆(网址: <http://www.ssreader.com>)。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付.如作者不同意将文章在上述网站发布(或被数据库收录),请在来稿时声明,本刊将做适当处理.

《水利水电科技进展》编辑部